



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Numéro de publication : **0 629 082 A1**

(12)

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt : **94401070.1**

(51) Int. Cl.<sup>5</sup> : **H04N 5/232, H04N 5/14,  
G06F 15/70**

(22) Date de dépôt : **11.05.94**

(30) Priorité : **11.06.93 FR 9307081**

(43) Date de publication de la demande :  
**14.12.94 Bulletin 94/50**

(84) Etats contractants désignés :  
**DE GB**

(71) Demandeur : **SAT (Société Anonyme de  
Télécommunications)**  
**6, avenue d'Iéna**  
**F-75116 Paris (FR)**

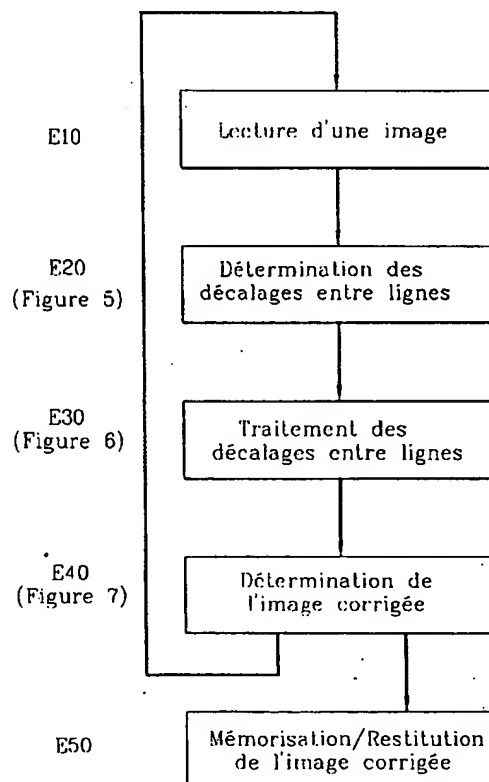
(72) Inventeur : **Baillet, Gérard**  
**58 B, Rue du Dessous-des-Berges**  
**F-75625 Paris Cedex 14 (FR)**

(74) Mandataire : **Cabinet Martinet & Lapoux**  
**BP 405**  
**F-78055 Saint Quentin en Yvelines Cédex (FR)**

(54) **Procédé de correction spatiale d'image numérique.**

(57) Un procédé de correction spatiale d'image numérique composée de rangées de pixels qui sont des lignes ou des colonnes, comprend la comparaison (E20) des rangées deux à deux pour déterminer des premiers décalages entre rangées exprimés en nombre entier de pixel, la détermination de seconds décalages entre rangées exprimés en nombre non entier de pixel puis la détermination (E40) pour chaque rangée d'un troisième décalage par rapport à une rangée de référence, et enfin la correction de chaque rangée par un décalage des pixels de cette rangée par rapport à la référence égal à la partie entière du troisième décalage de cette rangée et par un lissage spatial de ses pixels avec des coefficients fonction du troisième décalage. Ce procédé améliore la qualité de l'image lorsque celle-ci a été prise par un aéronef soumis à du roulis et/ou de la dérive.

*FIG. 4*



EP 0 629 082 A1

La présente invention concerne d'une manière générale le traitement d'image numérique pour améliorer l'aspect visuel de d'images et ainsi en faciliter l'exploitation ultérieure.

L'invention a trait plus particulièrement à un procédé de correction spatiale d'images numériques captées par des dispositifs embarqués dans des engins mobiles tels qu'avions ou navires. Un tel dispositif "photographie" une image ligne par ligne et reconstitue l'image par la juxtaposition des lignes. Or l'engin mobile subit au cours de son déplacement des mouvements perturbants tels que roulis ou dérive (lacet) qui provoquent des distorsions de l'image.

Si le dispositif embarqué est fixe par rapport à l'engin mobile, un gyromètre de mesure de vitesse angulaire peut être associé au dispositif de manière à mesurer en temps réel l'angle des mouvements perturbants par rapport à la trajectoire de l'engin et à corriger en conséquence la distorsion de l'image.

Alternativement, le dispositif embarqué peut être placé sur une plate-forme stabilisée qui corrige tout mouvement perturbant. Le dispositif embarqué ne subit alors plus de mouvement perturbant.

Ces matériels de correction, tels que gyromètre de mesure de vitesse angulaire ou plate-forme stabilisée, sont très coûteux et ne corrigent pas des distorsions supplémentaires, sous forme d'instabilité dans le sens ligne de l'image, provoquées par du bruit sur un signal de synchronisation ("gigue") lors de la transmission des images par exemple de l'engin mobile, tel qu'avion ou navire, vers une station terrestre de traitement et diffusion ou reproduction d'image.

La présente invention vise à fournir un procédé de traitement spatial d'image numérique qui améliore l'aspect visuel d'une image de manière économique, en corrigeant non seulement des distorsions d'image dues à des mouvements perturbants, mais également des distorsions dues à des défauts de synchronisation.

A cette fin, un procédé de correction spatiale d'image numérique composée d'un ensemble de rangées de pixels qui sont des lignes ou des colonnes de l'image, est caractérisé en ce qu'il comprend

la comparaison des rangées deux à deux pour déterminer des premiers décalages entre rangées exprimés en nombre entier de pixel,

la détermination de seconds décalages entre rangées exprimés en nombre non entier de pixel, en fonction des premiers décalages,

la détermination pour chaque rangée d'un troisième décalage de ladite rangée par rapport à une rangée de référence en fonction des seconds décalages, et

la correction de chaque rangée par un décalage des pixels de ladite chaque rangée par rapport à la rangée de référence égal à la partie entière du troisième décalage pour ladite chaque rangée, et par un lissage spatial de pixels de ladite chaque rangée avec

des coefficients de lissage fonction du troisième décalage pour ladite chaque rangée.

La comparaison des rangées deux à deux comprend pour deux rangées données, le calcul de sommes de corrélation entre les deux rangées décalées respectivement lorsque l'une est soumise par rapport à l'autre à des décalages prédéterminés exprimés en nombre entier de pixel, la recherche d'une somme de corrélation minimale parmi les sommes de corrélation calculées afin d'en déduire ledit premier décalage entre les deux rangées exprimé en nombre entier de pixel.

Une somme de corrélation entre deux rangées décalées d'un décalage exprimé en nombre entier de pixel est égale à la somme des valeurs absolues des différences des valeurs des pixels d'une rangée et des valeurs des pixels décalés dudit décalage de l'autre rangée.

De préférence, la détermination du second décalage entre deux rangées exprimée en nombre non entier de pixel est affinée par une interpolation des sommes de corrélation fonction des décalages prédéterminés entre les deux rangées, par une fonction polynômiale d'ordre supérieur ou égal à 2 autour du premier décalage, le second décalage étant l'abscisse d'un minimum de la fonction d'interpolation. Par exemple, la fonction polynômiale peut-être une fonction parabolique dont le sommet constitue ledit minimum.

La détermination pour une rangée donnée d'un troisième décalage de ladite rangée par rapport à une rangée de référence est réalisée par la somme des seconds décalages des rangées comprises entre la rangée de référence et la rangée donnée.

Selon une autre caractéristique, les coefficients de lissage spatial d'une rangée sont tels que leur somme est égale à 1. Par exemple, les coefficients de lissage spatial d'une rangée sont tels qu'un premier coefficient est égal à la partie décimale du troisième décalage de la rangée et qu'un second coefficient est égal ou complémentaire à 1 du premier coefficient.

De préférence, les seconds décalages entre rangées sont remplacés par des décalages corrigés fonctions des seconds décalages et tels que leur valeur moyenne est nulle. Cette étape est fondée sur la distinction entre les décalages à corriger dus à des perturbations telles que roulis et des "décalages naturels" dans l'image, tels qu'une route ou un cours d'eau non parallèle à la trajectoire de l'engin.

En variante, lorsque les décalages à corriger sont dus à de la dérive, les seconds décalages entre rangées sont remplacés par des décalages corrigés respectivement égaux à la moyenne des seconds décalages.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante de plusieurs réalisa-

tions préférées de l'invention, en référence aux dessins annexés correspondants dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique en perspective d'un aéronef équipé d'un dispositif de prise de vue;
- la figure 2 est une représentation schématique d'un premier type de déformation d'image;
- la figure 3 est une représentation schématique d'un second type de déformation d'image;
- la figure 4 est un bloc-diagramme des étapes principales d'un procédé de correction d'image selon une première réalisation;
- la figure 5 est un algorithme de détermination de premier et second décalages entre lignes selon une première réalisation;
- la figure 6 est un algorithme de correction de second décalage entre lignes selon la première réalisation;
- la figure 7 est un algorithme de détermination de l'image corrigée selon la première réalisation;
- la figure 8 est un bloc-diagramme des étapes principales d'un procédé de correction d'image selon une seconde réalisation;
- la figure 9 est un algorithme de détermination de premier et second décalages entre lignes selon la seconde réalisation;
- la figure 10 est un algorithme de correction de second décalage entre lignes selon la seconde réalisation; et
- la figure 11 est un algorithme de détermination de l'image corrigée selon la seconde réalisation.

En référence à la figure 1, dans un aéronef 1, tel qu'un avion ou un drone, est fixé un moyen de prise de vue 2 comprenant essentiellement un moyen de détection de préférence sensible aux infrarouges, un analyseur mono-ligne et un moyen de mémoire et/ou un moyen de transmission de données.

L'aéronef 1 survole une bande rectiligne de terrain 3 de manière à photographier cette bande. La prise de vue est effectuée par un balayage électronique ligne par ligne. Une ligne L est une "bande élémentaire" de la bande 3, transversale à la bande 3, et la juxtaposition d'un ensemble de lignes successives forme une image d'une portion de bande 3, le déplacement de l'aéronef le long de la bande fournissant le balayage d'image (trame).

Une ligne captée par le moyen de détection subit notamment une conversion analogique/numérique en entrée de l'analyseur. Une ligne est un ensemble de M pixels et un groupe de N lignes est une matrice de  $N \times M$  pixels, formant une image numérique à N lignes et M colonnes. Une ligne ou une colonne de l'image constitue une rangée de pixels dans la matrice, et par extension une rangée de l'image au sens de la présente invention. Une ligne numérique est mémorisée par le moyen de mémoire. En variante, les niveaux de

luminosité des pixels de la ligne sont émis par le moyen de transmission vers un récepteur associé à un moyen de mémorisation et de traitement de données. Le terme "luminosité" se rapporte à la luminance pour une image en noir et blanc, ou bien à l'une des composantes primaires rouge, verte et bleue ou à l'un des signaux de luminance et de chrominance pour une image en couleur.

Le dispositif de prise de vue et en particulier le moyen de détection optique sont fixes par rapport à l'aéronef. Pour obtenir des images reproduisant le plus fidèlement possible la scène effective de la bande 3, l'aéronef vole de préférence en ligne droite et à altitude constante. Cependant, en raison des conditions atmosphériques, l'aéronef subit en cours de vol des mouvements perturbants notamment de roulis, c'est-à-dire des petites rotations alternées R autour de l'axe longitudinal de l'aéronef, et de dérive, c'est-à-dire une rotation D autour d'un axe vertical, ou de lacet, c'est-à-dire des petites rotations alternées autour d'un axe vertical.

Dans la figure 2 est montrée schématiquement une image perturbée uniquement par le roulis de l'aéronef. La forme géométrique réelle de la scène sur la portion de bande de terrain photographiée est un rectangle foncé, sur un fond clair. L'image fournie par l'analyseur à bord de l'aéronef soumis au roulis présente une forme géométrique déformée.

L'image est composée de N lignes  $L_1$  à  $L_N$  et de M colonnes  $C_1$  à  $C_M$ , dont une ligne  $L_n$  et une colonne  $C_m$  sont représentées à titre d'exemple, avec  $1 \leq n \leq N$  et  $1 \leq m \leq M$ . Le roulis provoque une déformation de l'image dans le sens ligne, c'est-à-dire les lignes sont décalées les unes par rapport aux autres.

En pratique, une image comprend par exemple 1024 lignes et 1024 colonnes.

En référence à la figure 3, une image schématique est perturbée uniquement par des dérives de l'aéronef principalement suivant un même sens par rapport à la trajectoire de l'aéronef. La forme géométrique réelle est à nouveau un rectangle foncé sur fond clair. L'image fournie par l'analyseur à bord de l'aéronef soumis à la dérive présente une forme géométrique déformée résultant de la transformation du rectangle d'origine sensiblement en losange.

Une ligne  $L_n$  parmi N lignes et une colonne  $C_m$  parmi M colonnes sont également représentées dans la figure 3. La dérive provoque une déformation dans le sens colonne, c'est-à-dire les colonnes sont décalées les unes par rapport aux autres.

En pratique, les déformations dues aux roulis et les déformations dues à la dérive se combinent aléatoirement. Dans le cas d'images réelles, porteuses en général d'un grand nombre de détails, ces deux types de déformation rendent difficiles la lecture et l'interprétation des images par un opérateur. De plus, d'autres déformations altèrent une image. En particulier, dans le cas de la transmission d'images entre l'aéro-

nef et un moyen de réception, la synchronisation des données est réalisée par une référence de seuil sur un front montant d'un signal de synchronisation. Lorsque le front montant est bruité, la position du seuil sur le front montant subit des variations provoquant un phénomène de gigue (jitter), c'est-à-dire d'instabilité dans le sens des lignes de l'image. Cette instabilité provoque des décalages entre lignes analogues aux déformations dues au roulis, mais de plus faibles amplitude.

En référence à la figure 4, un procédé de correction d'image destiné plus particulièrement à une image déformée par du roulis est illustré sous la forme d'un algorithme composé de cinq étapes principales E10 à E50 et programmé dans une mémoire de calculateur. La correction d'image est réalisée dans l'aéronef, ou en variante au sol. Dans tous les cas, comme il a déjà été précisé, une image est une matrice de  $N \times M$  pixels mémorisée. Le procédé comprend une première étape E10 de lecture d'une image qui consiste à lire les niveaux de luminosité des  $N \times M$  pixels de l'image à  $N$  lignes et  $M$  colonnes dans une mémoire d'image.

L'étape E20 détermine et mémorise les décalages des lignes prises deux à deux successivement. L'étape E20 est composée d'un ensemble d'étapes E21 à E27 qui seront décrites en détail en référence à la figure 5.

L'étape E30 traite les décalages entre lignes pour séparer les décalages dus au roulis, de tout décalage non lié à la prise de vue, mais existant réellement sur la portion de terrain photographiée, par exemple une route formant un angle avec les bords de l'image, ou un cours d'eau qui serpente. L'étape E30 est composée d'un ensemble d'étapes E31 à E34 qui seront décrites en détail en référence à la figure 6.

L'étape E40 détermine l'image corrigée à partir des décalages entre lignes déterminés à l'étape E30. En variante, l'étape E40 détermine l'image corrigée à partir des décalages entre lignes déterminés à l'étape E20; cette variante ne comprend pas l'étape E30.

Dans tous les cas, l'étape E40 se compose d'un ensemble d'étapes E41 à E46 qui seront décrites en détail en référence à la figure 7.

La nouvelle image corrigée des effets du roulis est mémorisée à l'étape E50, et est, de préférence, également affichée à l'écran d'une console de visualisation associée au calculateur.

En variante, l'image corrigée à l'étape E40 peut être traitée à nouveau à partir de l'étape E10. Plusieurs cycles de correction successifs améliorent plus l'image qu'un cycle unique. Le nombre de cycles de correction est soit fixe, déterminé une fois pour toute, par exemple égal à 1, 2 ou 3, soit choisi par l'opérateur, soit encore déterminé dynamiquement par l'algorithme sur un critère de qualité de l'image corrigée.

Comme illustrée à la figure 5, la détermination

des décalages entre lignes comprend un ensemble d'étapes E21 à E27. Une ligne quelconque  $L_n$  de l'image est comparée à la ligne adjacente  $L_{n-1}$  précédemment mémorisée. L'étape E21 initialise la détermination à la ligne  $L_2$  qui est comparée à la ligne  $L_1$ . Dans la suite, la ligne  $L_1$  n'est pas affectée par la correction d'image et est une ligne de référence. En variante, l'ordre des calculs est inversé, la ligne de référence est la ligne  $L_N$  et la comparaison commence alors à la ligne  $L_{N-1}$ , qui est comparée à la ligne  $L_N$ . Selon une autre variante, la ligne de référence est une ligne quelconque de l'image.

L'étape E22 initialise un décalage en nombre entier de pixel Dec à une valeur -Dmin. Le décalage Dec est le décalage de comparaison de la ligne  $L_n$  avec la ligne  $L_{n-1}$ .

Pour une valeur de décalage Dec donnée, l'étape E23 compare la ligne  $L_n$  à la ligne  $L_{n-1}$ , en calculant une somme de corrélation  $S_{Dec}$  entre les deux lignes, pour le décalage Dec. La somme  $S_{Dec}$  est égale à :

$$\sum_{m=Bord}^{m=M-Bord} |PIX_{n-1,m} - PIX_{n,m+Dec}|$$

où :

- $PIX_{n-1,m}$  est le niveau de luminosité du pixel au croisement de la ligne  $L_{n-1}$  et de la colonne  $C_m$ ,
- $PIX_{n,m+Dec}$  est le niveau de luminosité du pixel au croisement de la ligne  $L_n$  et de la colonne  $C_{m+Dec}$ ,
- Bord est un entier, strictement inférieur à M, égal à un nombre de pixels situés sur chacun des deux bords de l'image, et non considérés dans la comparaison; à titre d'exemple, pour des lignes de 1024 pixels, les bords non considérés sont d'une largeur comprise entre 50 et 100 pixels.

La valeur de  $S_{Dec}$  est mémorisée, puis le décalage de comparaison Dec est incrémenté de 1.

A l'étape E24, le décalage Dec est comparé à une valeur prédéterminée Dmax qui est la valeur maximale du décalage Dec. Si la valeur du décalage Dec est inférieure ou égale à la valeur Dmax, l'étape E23 est à nouveau déroulée. Sinon, toutes les sommes de corrélation  $S_{Dec}$  pour Dec variant de -Dmin à Dmax sont déterminées, c'est-à-dire des sommes au nombre de  $(Dmin + Dmax + 1)$ , et l'algorithme passe à l'étape E25.

Les bornes de variation -Dmin et Dmax du décalage Dec sont à titre d'exemple -25 et +25 pixels.

L'étape E25 recherche la somme minimale  $S_{Decmin}$  parmi les sommes déterminées précédemment, ainsi que le décalage Decmin associé. Pour trouver la somme minimale  $S_{Decmin}$  parmi  $(Dmin + Dmax + 1)$  sommes, les valeurs adjacentes à  $S_{Dec}$  sont comparées deux à deux. La somme minimale  $S_{Decmin}$  est la

première somme trouvée dont les deux sommes adjacentes précédente et suivante lui sont supérieures lorsque Dec croît de - Dmin à Dmax. En variante, toutes les sommes  $S_{Dec}$  sont analysées, en comparant les sommes deux à deux, et en gardant comme résultat de chaque comparaison la somme  $S_{Dec}$  la plus faible. Selon une autre variante, la somme minimale  $S_{Decmin}$  est la première somme trouvée dont les deux sommes adjacentes précédente et suivante lui sont supérieures de valeurs de différence supérieures à un seuil prédéterminé.

Dans tous les cas, à la somme minimale trouvée  $S_{Decmin}$  est associé le décalage de la ligne  $L_n$  par rapport à la ligne  $L_{n-1}$  exprimé en nombre entier de pixel Decmin. Or, un décalage exprimé en nombre entier de pixel ne sert à corriger une image que d'un décalage relativement élevé d'une ligne à l'autre. En pratique, le décalage d'une ligne à l'autre survenu au cours de la prise de vue est fréquemment inférieur au pixel; l'invention prévoit alors d'affiner le calcul du décalage.

L'étape E26 détermine le décalage  $D_n$  de la ligne  $L_n$  par rapport à la ligne  $L_{n-1}$ , avec une précision inférieure au pixel; d'une manière générale,  $D_n$  est un nombre non entier de pixel. Le décalage  $D_n$  est déterminé en fonction des décalages Decmin, (Decmin-1) et (Decmin + 1) ainsi que des sommes de corrélation associées à chacun de ces décalages  $D_{Decmin}$ ,  $S_{Decmin-1}$  et  $S_{Decmin+1}$ . Dans un repère ayant les décalages pour abscisses x et les sommes de corrélation pour ordonnées y, ces trois couples de décalage et somme définissent trois points. En recherchant la parabole d'équation :

$$y = ax^2 + bx + c$$

passant par ces trois points, est déduit le sommet de cette parabole qui a pour ordonnée la somme minimum affinée et pour abscisse le décalage plus précis  $D_n$  de la ligne  $L_n$  par rapport à la ligne  $L_{n-1}$ . Le décalage  $D_n$  résulte de la résolution du système à trois équations de parabole correspondant aux trois points afin d'en déduire les coefficients a, b et c. Ce décalage est ainsi égal à :

$$- b/(2a) = \text{Decmin} + 0,5x(S_{\text{Decmin}+1} - S_{\text{Decmin}-1}) / (2 \times S_{\text{Decmin}} - S_{\text{Decmin}-1} - S_{\text{Decmin}+1})$$

La valeur de  $D_n$  est ensuite mémorisée et le paramètre n est incrémenté de 1.

En variante, le décalage  $D_n$  peut être déterminé comme l'abscisse du minimum de la parabole passant par les trois points (Decmin,  $S_{Decmin}$ ), (Decmin + k,  $S_{Decmin+k}$ ), (Decmin-k,  $S_{Decmin-k}$ ) où k est un entier, valant 2 ou 3 par exemple. Selon une autre variante, la parabole est remplacée par une fonction polynômiale d'ordre plus élevé que deux.

L'étape E27 compare la valeur de n avec le nombre total de lignes N. Si n est inférieur ou égal à N, il reste au moins une ligne pour laquelle le décalage  $D_n$  n'a pas été déterminé et le calcul reprend pour une

nouvelle ligne à partir de l'étape E22. Sinon, tous les décalages  $D_2$  à  $D_N$  sont déterminés et l'algorithme passe à l'étape E31 qui est décrite dans la suite.

En variante, une ligne quelconque  $L_n$  n'est pas comparée à la ligne adjacente  $L_{n-1}$ , mais à la ligne  $L_{n-i}$ , où i est un entier supérieur à 1, puis le paramètre n est incrémenté de i. A titre d'exemple, l'entier i vaut 2 et seules les lignes de rang pair sont traitées. Les lignes de rang impair sont décalées (étape E40) d'un décalage égal au décalage calculé pour la ligne de rang pair précédente. Le nombre de calculs est réduit et la vitesse d'exécution est augmentée.

En référence à la figure 6, le traitement des décalages entre lignes comprend quatre étapes principales E31 à E34. Ce traitement a pour but de corriger les valeurs des décalages  $D_n$ , pour n variant de 2 à N, déterminées à l'étape E26. En effet, les décalages  $D_n$  dépendent des décalages dus au roulis, mais également de "décalages" représentés par des traits inclinés ou brisés et existant réellement sur la bande de terrain considérée, par exemple une route non parallèle aux bords de la bande de terrain. La correction des décalages repose sur le constat que les variations de l'orientation de l'aéronef par rapport à sa trajectoire dues au roulis sont nulles statistiquement. Par conséquent, les décalages dus au roulis sont nuls en moyenne sur un grand nombre de lignes, 1024 par exemple, tandis que les "décalages existant réellement" sur le terrain ne sont pas a priori nuls en moyenne. La correction a pour résultat des valeurs de décalage corrigées, dont la moyenne est nulle. La correction est du premier ordre sur les décalages; en variante, la correction est d'ordre plus élevé.

La correction des décalages est telle qu'un ensemble prédéterminé de lignes de l'image n'est pas modifié lors de la détermination de l'image corrigée, qui sera décrite en détail dans la suite. A titre d'exemple, si l'entier N est pair, cet ensemble prédéterminé de lignes comprend les lignes  $L_1$ ,  $L_{N/2}$  et  $L_N$ . En variante, l'ensemble comprend un nombre plus important de lignes, par exemple 4,5 ou 6, qui sont régulièrement réparties ou non dans l'image. Selon une autre variante, le nombre et/ou la position dans l'image des lignes de cet ensemble sont choisis par l'opérateur.

L'étape E31 détermine trois coefficients  $S_1$ ,  $S_2$  et P utilisés pour la correction des décalages. Le coefficient  $S_1$  est la somme de tous les décalages  $D_n$ , pour  $2 \leq n \leq N$ . Le coefficient  $S_2$  est la somme des décalages  $D_n$ , pour  $2 \leq n \leq N/2$ , c'est-à-dire pour la demi-image entre les lignes  $L_1$  et  $L_{N/2}$ . Le coefficient P représente un coefficient égal à  $4(S_1 - 2S_2)/N^2$  relatif à la variation du décalage des lignes par rapport à la première ligne de référence entre les lignes limites  $L_1$  et  $L_{N/2}$ , et  $L_{N/2}$  et  $L_N$ .

L'étape E32 initialise la détermination de la correction de décalage à la deuxième ligne puisque, comme il a déjà été précisé, la première ligne de l'image n'est pas modifiée lors de la détermination de

l'image corrigée. L'étape E33 calcule un coefficient correcteur  $Cor_n$ , qui est égal à  $S1/N + P \times (n - N/2)$  afin de ramener la variation du décalage des lignes par rapport à la première ligne de référence le long d'une droite. Le coefficient  $Cor_n$  est ensuite soustrait du décalage  $D_n$ , ce qui produit un décalage corrigé  $Dc_n$ . Le paramètre  $n$  est incrémenté de 1.

L'étape E34 compare le paramètre  $n$  à la valeur  $N$ ; si  $n$  est inférieur ou égal à  $N$ , l'étape E33 est à nouveau déroulée pour cette nouvelle valeur de  $n$ . Sinon, tous les décalages corrigés  $Dc_n$ , pour  $2 \leq n \leq N$ , sont déterminés et l'algorithme passe à l'étape E41 qui est détaillée dans la suite.

En référence à la figure 7, la détermination de l'image corrigée comprend un ensemble d'étapes E41 à E46 et est effectuée ligne par ligne.

L'étape E41 initialise la correction de l'image à la deuxième ligne  $L_2$  de l'image. A l'étape E42 est déterminé un décalage  $Decal_n$  de la ligne  $L_n$  qui est égal à la somme des décalages  $Dc_i$ , pour  $2 \leq i \leq n$ , et qui définit le décalage de la ligne  $L_n$  par rapport à la ligne de référence  $L_1$ . En variante,  $Decal_n$  est la somme des décalages  $D_i$  pour  $2 \leq i \leq n$ , calculés à l'étape E26. Dans tous les cas, le décalage  $Decal_n$  est en général un nombre non entier, dont la partie entière est notée  $En$ . La partie décimale de  $Decal_n$  est notée  $k_{n1}$  et le complémentaire à 1 de  $k_{n1}$  est noté  $k_{n2}$ . L'étape E43 initialise à 1 un paramètre  $m$ , représentatif du rang d'un pixel dans la ligne  $L_n$ .

L'étape E44 détermine le niveau de luminance corrigé  $Pc_{n,m}$  du pixel de rang  $m$  dans la ligne  $L_n$  par un décalage de pixel égal à la partie entière de  $Decal_n$ , puis par un lissage spatial de valeurs de pixel de la ligne. Le lissage résulte de la contribution de deux pixels enregistrés adjacents de rangs  $m + En$  et  $m + En + 1$  dans le pixel corrigé. Le niveau corrigé  $Pc_{n,m}$  est ainsi la somme des niveaux de pixel  $PIX_{n,m+En}$  et  $PIX_{n,m+En+1}$  respectivement pondérés par les coefficients  $k_{n1}$  et  $k_{n2}$ . Le niveau corrigé  $Pc_{n,m}$  est mémorisé et le paramètre  $m$  est incrémenté de 1. En variante, les coefficients  $k_{n1}$  et  $k_{n2}$  sont déterminés différemment, et sont par exemple égaux à 0 et 1 respectivement, ou à 0,5 et 0,5. Selon une autre variante, le niveau corrigé  $Pc_{n,m}$  est une somme pondérée de plus de deux niveaux de pixel, par exemple  $PIX_{n,m+En-1}$ ,  $PIX_{n,m+En}$  et  $PIX_{n,m+En+1}$ . Dans tous les cas, les coefficients de pondération sont de préférence tels que leur somme est égale à 1, de sorte qu'il n'y ait pas de modification de la valeur moyenne des pixels de la ligne.

L'étape E45 vérifie si le paramètre  $m$  est inférieur ou égal au nombre  $M$  de colonne de l'image et donc au nombre de pixels de la ligne  $L_n$ . Si  $m$  est inférieur ou égal à  $M$ , il reste au moins un pixel dont la valeur corrigée n'a pas été déterminée, et l'étape E44 est à nouveau parcourue. Lorsque tous les pixels de la ligne  $L_n$  sont corrigés, alors le paramètre  $n$  est incrémenté de 1 pour passer à la ligne suivante. L'étape E46 vérifie si le paramètre  $n$  est inférieur ou égal à  $N$ .

En cas de réponse positive, l'algorithme déroule les étapes E42 à E45 pour une nouvelle ligne. Lorsque toutes les lignes sont corrigées, l'algorithme passe à l'étape E50 de mémorisation de l'image corrigée. Comme il a déjà été dit, en variante, les étapes principales E10 à E40 peuvent être déroulées plusieurs fois séquentiellement avant de passer à l'étape E50.

En référence à la figure 8, un procédé de correction de déformation d'image due à la dérive est illustré sous la forme d'un algorithme composé de cinq étapes principales E100 à E500, analogues aux étapes E10 à E50 précédemment décrites en référence à la figure 4. La principale différence est que la correction de l'image est effectuée colonne par colonne, et non ligne par ligne. A l'étape E100 sont lus  $N \times M$  niveaux de luminosité de pixel mémorisés d'une image à  $N$  lignes et  $M$  colonnes.

L'étape E200 détermine et mémorise les décalages des colonnes prises deux à deux successivement. L'étape E200 est composée d'un ensemble d'étapes E210 à E270 qui seront décrites en détail en référence à la figure 9.

L'étape E300 traite les décalages entre colonnes pour séparer les décalages dus à la dérive de tout décalage non lié à la prise de vue, mais existant réellement sur la bande de terrain photographiée. L'étape E300 est composée d'un ensemble d'étapes E310 à E340 qui seront décrites en détail en référence à la figure 10.

L'étape E400 détermine l'image corrigée à partir des décalages entre colonnes déterminés à l'étape E300. En variante, l'étape E400 détermine l'image corrigée à partir des décalages entre colonnes déterminés à l'étape E200; cette variante ne comprend pas l'étape E300.

Dans tous les cas, l'étape E400 se compose d'un ensemble d'étapes E410 à E460 qui seront décrites en détail en référence à la figure 11.

La nouvelle image corrigée des effets de la dérive est mémorisée à l'étape E500 et est, de préférence également affichée à l'écran d'une console de visualisation associée au calculateur.

En variante, l'image corrigée à l'étape E400 peut être traitée à nouveau à partir de l'étape E100.

Comme montrée à la figure 9, la détermination des décalages entre colonnes comprend les étapes E210 à E270, qui sont respectivement analogues aux étapes E21 à E27 décrites en référence à la figure 5, à la différence près que les décalages ne sont pas déterminés ligne à ligne, mais colonne à colonne.

La lettre "C" est ajoutée aux noms des différents paramètres. Les colonnes sont comparées deux à deux pour déterminer un premier décalage  $DecCmin$  de la colonne  $C_m$  par rapport à la colonne  $C_{m-1}$ , exprimé en nombre entier de pixel, puis un second décalage  $DC_m$  de la colonne  $C_m$  par rapport à la colonne  $C_{m-1}$  exprimé en nombre non entier de pixel. Lorsque tous les décalages  $DC_m$ , pour  $2 \leq m \leq M$ , sont détermi-

nés, l'algorithme passe à l'étape E310.

En référence à la figure 10, le traitement des décalages entre colonnes comprend quatre étapes E310 à E340. Ce traitement a pour but de corriger les valeurs des décalages  $DC_m$ , pour  $2 \leq m \leq M$ , déterminés à l'étape E260.

L'étape E310 comprend le calcul de la somme SC et de la moyenne MC des décalages  $DC_m$ , pour  $2 \leq m \leq M$ .

L'étape E320 initialise le paramètre m à 2 et l'étape E330 détermine le décalage corrigé  $DC_{c_m}$  de la colonne  $C_m$ , qui est égal à la moyenne MC des décalages  $DC_m$ . Le paramètre m est incrémenté de 1 pour passer à la colonne suivante. A l'étape E340, si m est inférieur ou égal à M, l'étape E330 est à nouveau déroulée pour cette valeur de m; sinon, l'algorithme passe à l'étape suivante E340.

Cette correction de dérive suppose que la dérive de l'aéronef est quasiment constante pendant la prise de vue de l'image ce qui implique que la correction est identique pour toutes les colonnes.

En variante lorsque la dérive de l'aéronef est modifiée graduellement pendant la prise de vue de l'image, le calcul de la somme SC et de la moyenne MC des décalages  $DC_m$ , pour  $2 \leq m \leq M$ , est remplacé par le calcul d'un ensemble de sommes et moyennes calculées sur des groupes de valeurs de décalage. Par exemple, lorsque la dérive présente trois valeurs successives pendant la prise de vue, les sommes et moyennes sont:

$$SC_1 = \sum_{m=2}^{m1} DC_m ;$$

$$MC_1 = SC_1 / m1$$

$$SC_2 = \sum_{m=m1+1}^{m2} DC_m ;$$

$$MC_2 = SC_2 / (m2 - m1)$$

$$SC_3 = \sum_{m=m2+1}^M DC_m ;$$

$$MC_3 = SC_3 / (M - m2)$$

avec  $2 \leq m1 \leq m2 \leq M$ . Le décalage corrigé  $DC_{c_m}$  est alors égal soit à  $SC_1$ , soit à  $SC_2$ , soit à  $SC_3$  suivant que m est compris entre 2 et m1, ou m1 + 1 et m2, ou m2 + 1 et M.

En variante, l'algorithme ne comprend pas les étapes E310 à E340 précédemment décrites. Dans ce cas, l'algorithme passe directement de l'étape

E270 à l'étape E410.

En référence à la figure 11, la détermination de l'image corrigée comprend les étapes E410 à E460, respectivement analogues aux étapes E41 à E46 décrites en référence à la figure 7. La détermination de l'image corrigée n'est pas effectuée ligne par ligne, mais colonne par colonne. Pour chaque colonne  $C_m$  sont déterminés les niveaux de luminosité corrigés de pixel  $PC_{n,m}$ , pour  $1 \leq n \leq N$ , chacun en fonction de niveaux enregistrés ou calculés à l'étape E42  $PIX_{n+EC_{m,m}}$  et  $PIX_{n+EC_{m+1,m}}$  de deux pixels adjacents dans la même colonne. Lorsque toutes les colonnes sont corrigées, l'algorithme passe à l'étape E500 de mémorisation de l'image corrigée.

Les deux types de correction d'image respectivement suivant les étapes E10 à E40 et E100 à E400 sont par exemple effectués séquentiellement sur une image, suivant cet ordre ou l'ordre inverse, ou bien un opérateur choisit de n'effectuer que l'un des deux types de correction pour une image donnée.

## Revendications

1 - Procédé de correction spatiale d'image numérique composée d'un ensemble de rangées de pixels ( $L_1$  à  $L_N$ ;  $C_1$  à  $C_M$ ) qui sont des lignes ou des colonnes de l'image,

caractérisé en ce qu'il comprend

la comparaison (E23;E230) des rangées deux à deux pour déterminer (E25;E250) des premiers décalages entre rangées ( $Dec_{min}$ ;  $Dec_{Cmin}$ ) exprimés en nombre entier de pixel,

la détermination (E26;E260) de seconds décalages entre rangées ( $D_n$ ;  $DC_m$ ) exprimés en nombre non entier de pixel, en fonction des premiers décalages,

la détermination (E42;E420) pour chaque rangée ( $L_n$ ;  $C_m$ ) d'un troisième décalage ( $Decal_n$ ;  $Decal_{Cm}$ ) de ladite rangée ( $L_n$ ;  $C_m$ ) par rapport à une rangée de référence ( $L_1$ ;  $C_1$ ) en fonction des seconds décalages ( $D_n$ ;  $DC_m$ ), et

la correction de chaque rangée (E44;E440) par un décalage des pixels de ladite chaque rangée par rapport à la rangée de référence égal à la partie entière du troisième décalage pour ladite chaque rangée, et par un lissage spatial des pixels de ladite chaque rangée avec des coefficients de lissage ( $k_{n1}, k_{n2}; k_{Cm1}, k_{Cm2}$ ) fonction du troisième décalage pour ladite chaque rangée.

2 - Procédé de correction conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que la comparaison (E23;E230) des rangées deux à deux comprend pour deux rangées données ( $L_n, L_{n-1}; C_m, C_{m-1}$ ), le calcul de sommes de corrélation ( $S_{Deci}; S_{DecC}$ ) entre les deux rangées décalées respectivement lorsque l'une est soumise par rapport à l'autre à des décalages prédéterminés exprimés en nombre entier de pixel ( $Dec$ ;  $DecC$ ), la re-

cherche d'une somme de corrélation minimale ( $S_{Dec_{min}; S_{DecCmin}}$ ) parmi les sommes de corrélation calculées afin d'en déduire ledit premier décalage ( $Dec_{min}; DecCmin$ ) entre les deux rangées exprimé en nombre entier de pixel.

3 - Procédé de correction conforme à la revendication 2, dans lequel une somme de corrélation ( $S_{Dec}; S_{DecC}$ ) entre deux rangées décalées d'un décalage ( $Dec; DecC$ ) exprimé en nombre entier de pixel est égale à la somme des valeurs absolues des différences des valeurs des pixels d'une rangée et des valeurs des pixels décalés dudit décalage ( $Dec; DecC$ ) de l'autre rangée.

4 - Procédé de correction conforme à l'une quelconque des revendications 2 ou 3, dans lequel la détermination ( $E26; E260$ ) du second décalage entre deux rangées ( $D_n; DC_n$ ) exprimée en nombre non entier de pixel est réalisée par une interpolation des sommes de corrélation ( $S_{Dec}; S_{DecC}$ ) fonction des décalages ( $Dec; DecC$ ) prédéterminés entre les deux rangées, par une fonction polynômiale d'ordre supérieur ou égal à 2 autour du premier décalage ( $Dec_{min}; DecCmin$ ), le second décalage ( $D_n; DC_n$ ) étant l'abscisse d'un minimum de la fonction d'interpolation.

5 - Procédé de correction conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la détermination ( $E42; E420$ ) pour une rangée donnée ( $L_n; C_m$ ) d'un troisième décalage ( $Decal_n; DecalC_m$ ) de ladite rangée ( $L_n; C_m$ ) par rapport à une rangée de référence ( $L_1; C_1$ ) est réalisée par la somme des seconds décalages ( $D_n; DC_n$ ) des rangées comprises entre la rangée de référence ( $L_1; C_1$ ) et la rangée donnée ( $L_n; C_m$ ).

6 - Procédé de correction conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les coefficients de lissage spatial ( $k_{n1}, k_{n2}; k_{Cm1}, k_{Cm2}$ ) d'une rangée ( $L_n; C_m$ ) sont tels que leur somme est égale à 1.

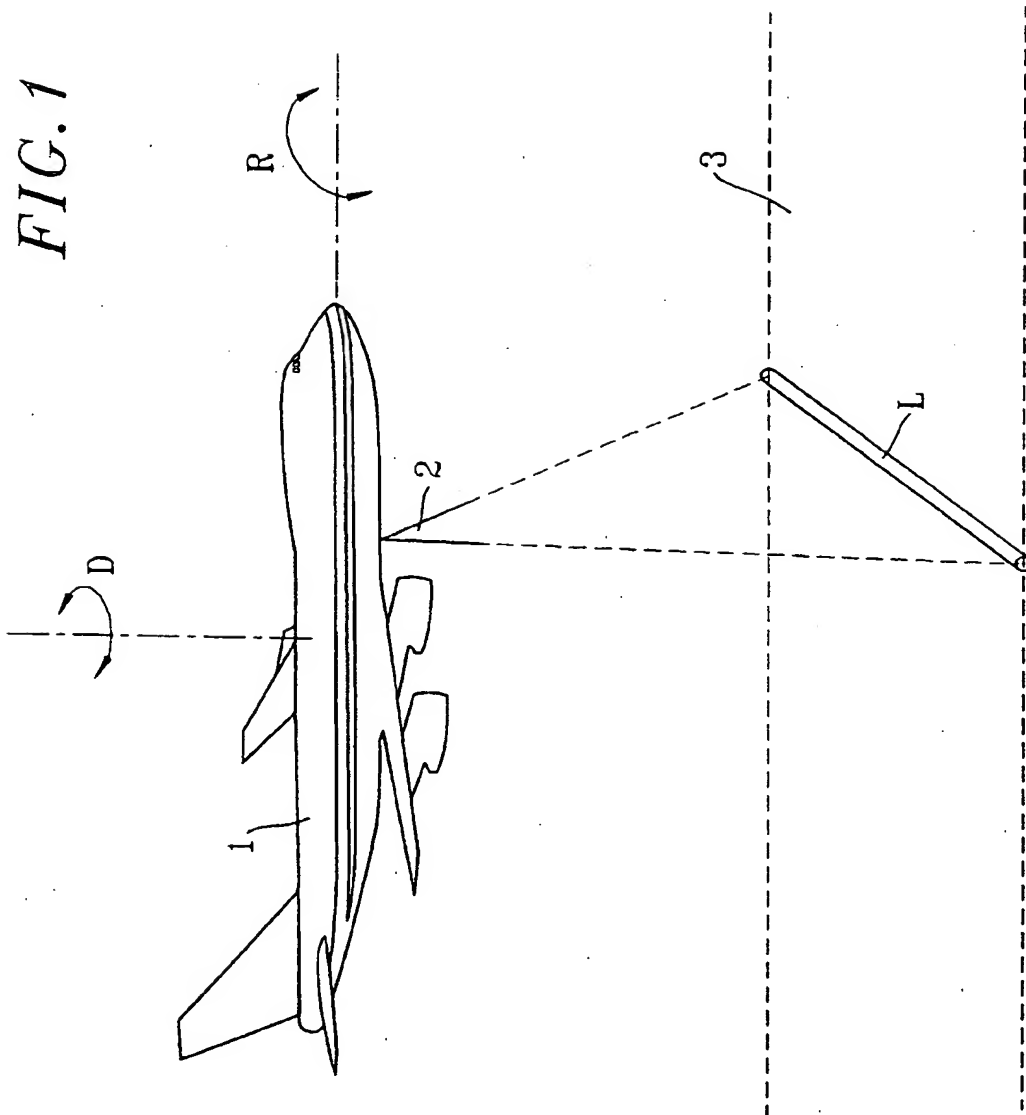
7 - Procédé de correction conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel les coefficients de lissage spatial ( $k_{n1}, k_{n2}; k_{Cm1}, k_{Cm2}$ ) d'une rangée ( $L_n; C_m$ ) sont tels qu'un premier coefficient ( $k_{n1}; k_{Cm1}$ ) est égal à la partie décimale du troisième décalage ( $Decal_n; DecalC_m$ ) de la rangée ( $L_n; C_m$ ) et qu'un second coefficient ( $k_{n2}; k_{Cm2}$ ) est égal au complémentaire à 1 du premier coefficient.

8 - Procédé de correction conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel les seconds décalages entre rangées ( $D_n$ ) sont remplacés ( $E33$ ) par des décalages corrigés ( $DC_n$ ) qui dépendent des seconds décalages et dont leur valeur moyenne est nulle.

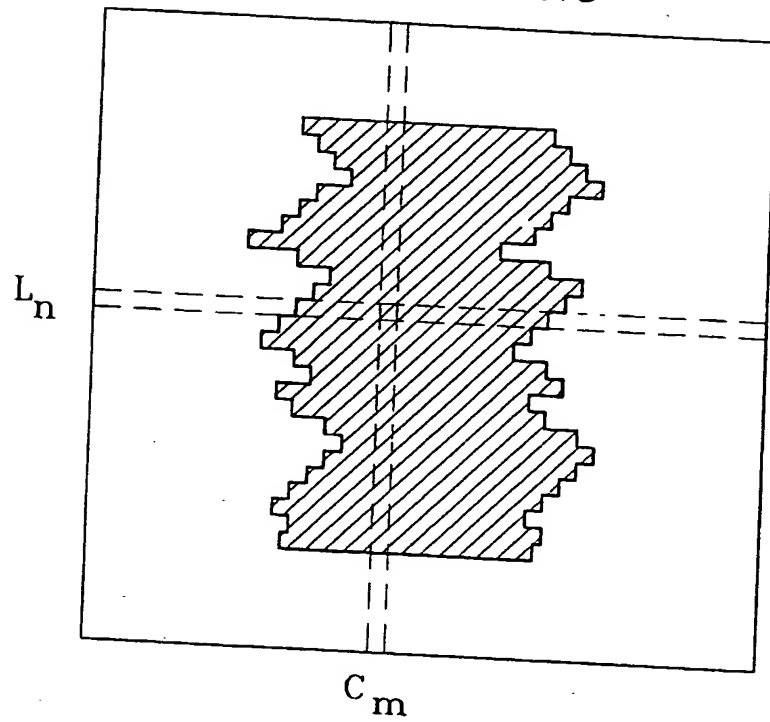
9 - Procédé de correction spatiale d'image conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel les seconds décalages entre rangées ( $DC_m$ ) sont remplacés ( $E330$ ) par des décalages corrigés respectivement égaux à la moyenne ( $MC$ )

des seconds décalages.

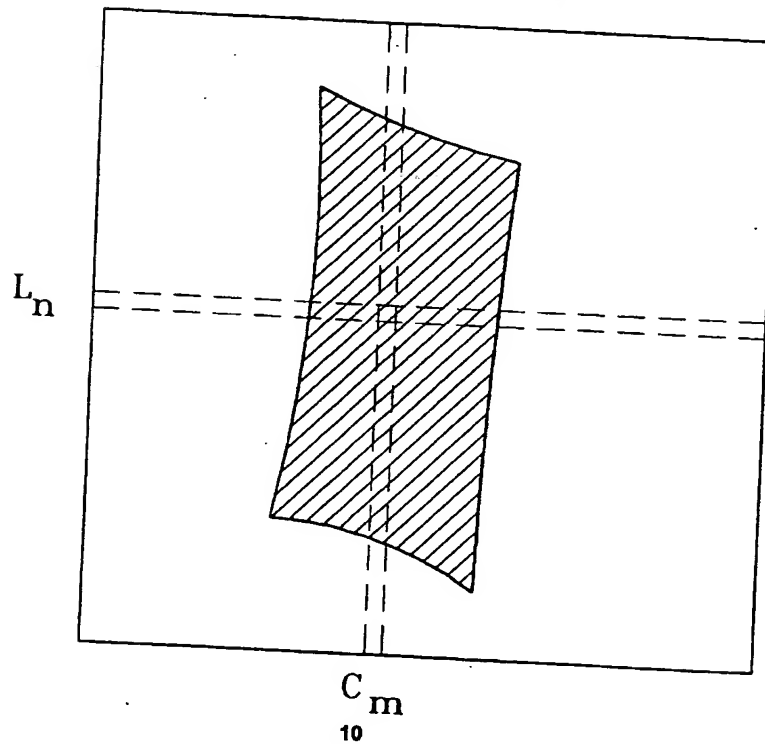




*FIG.2*



*FIG.3*



*FIG. 4*

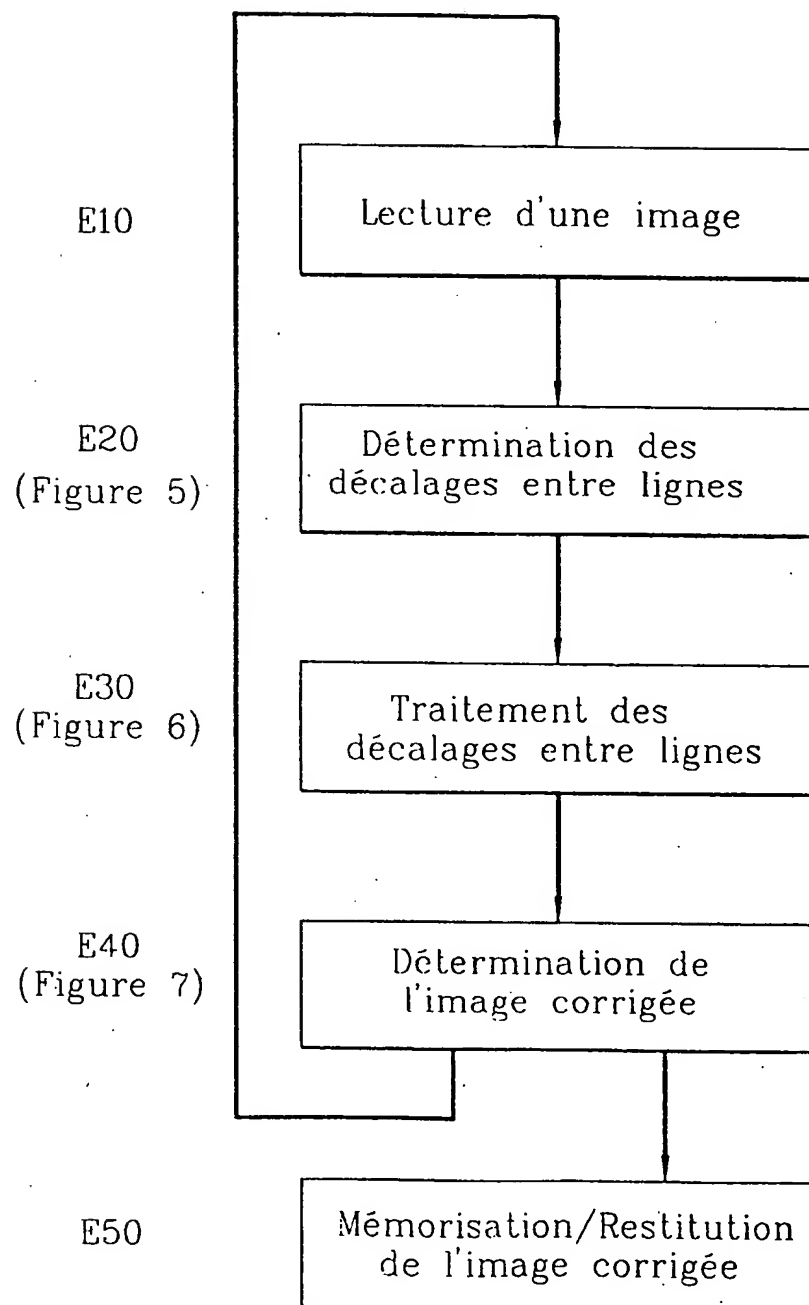


FIG. 5

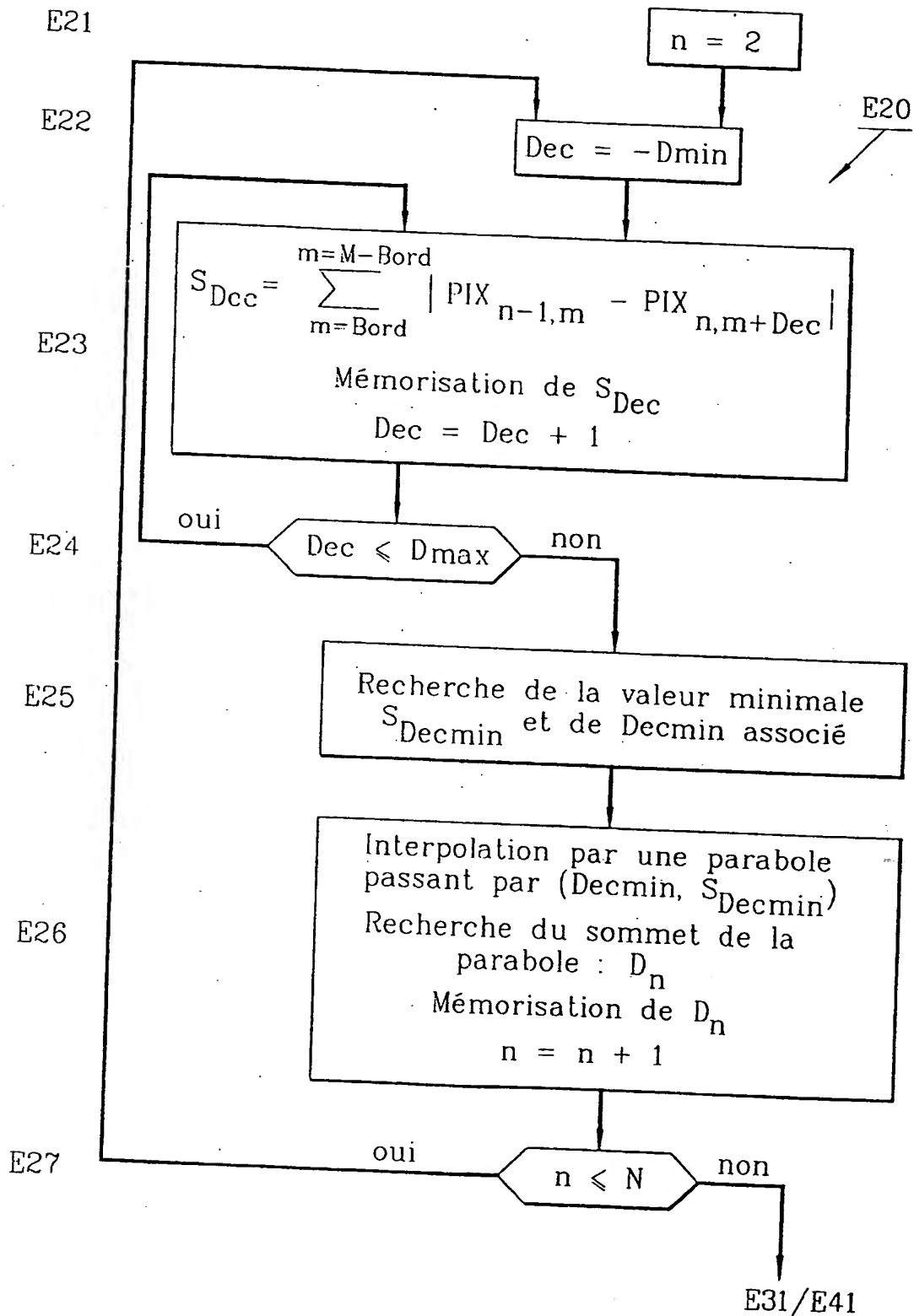


FIG. 6

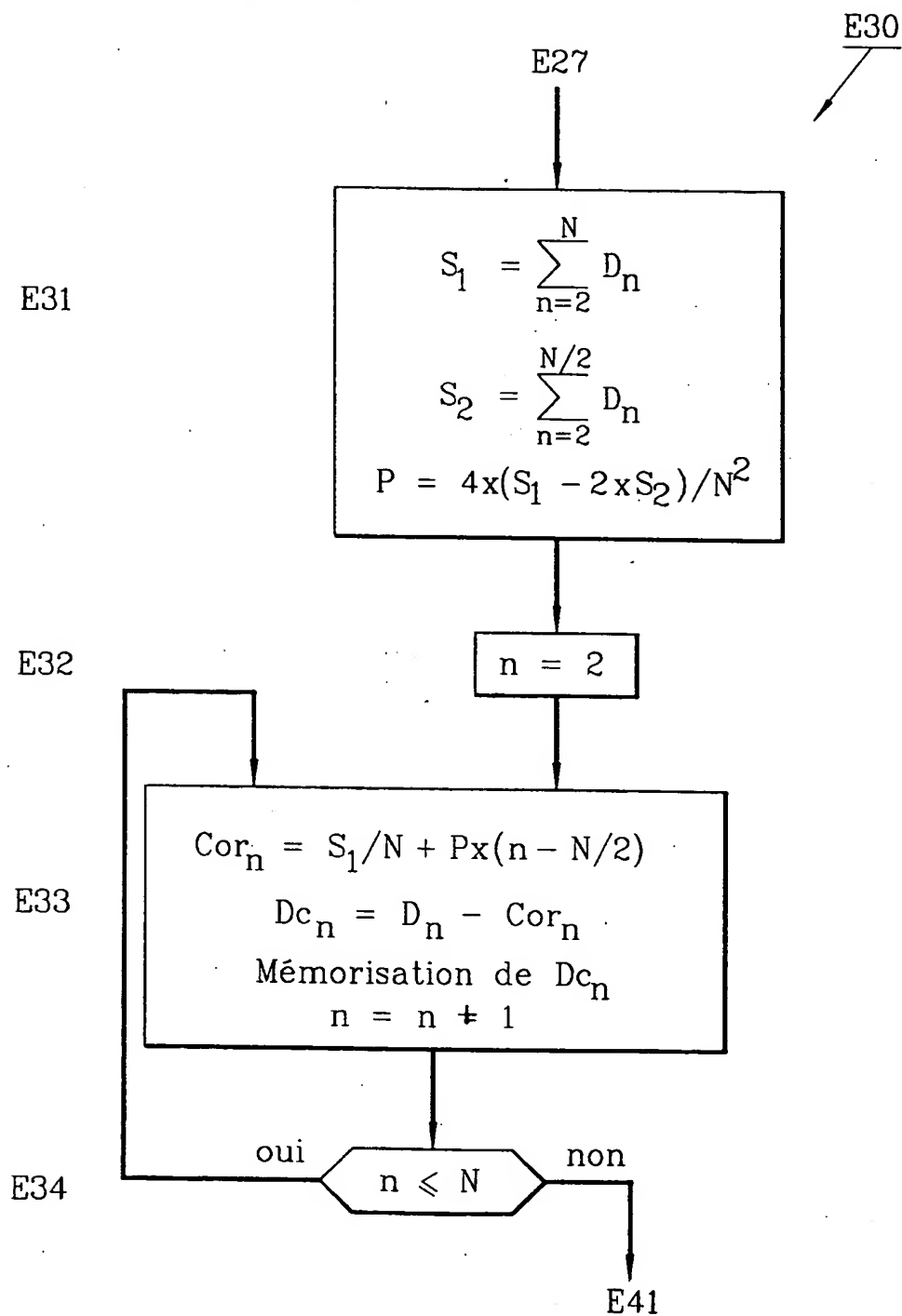
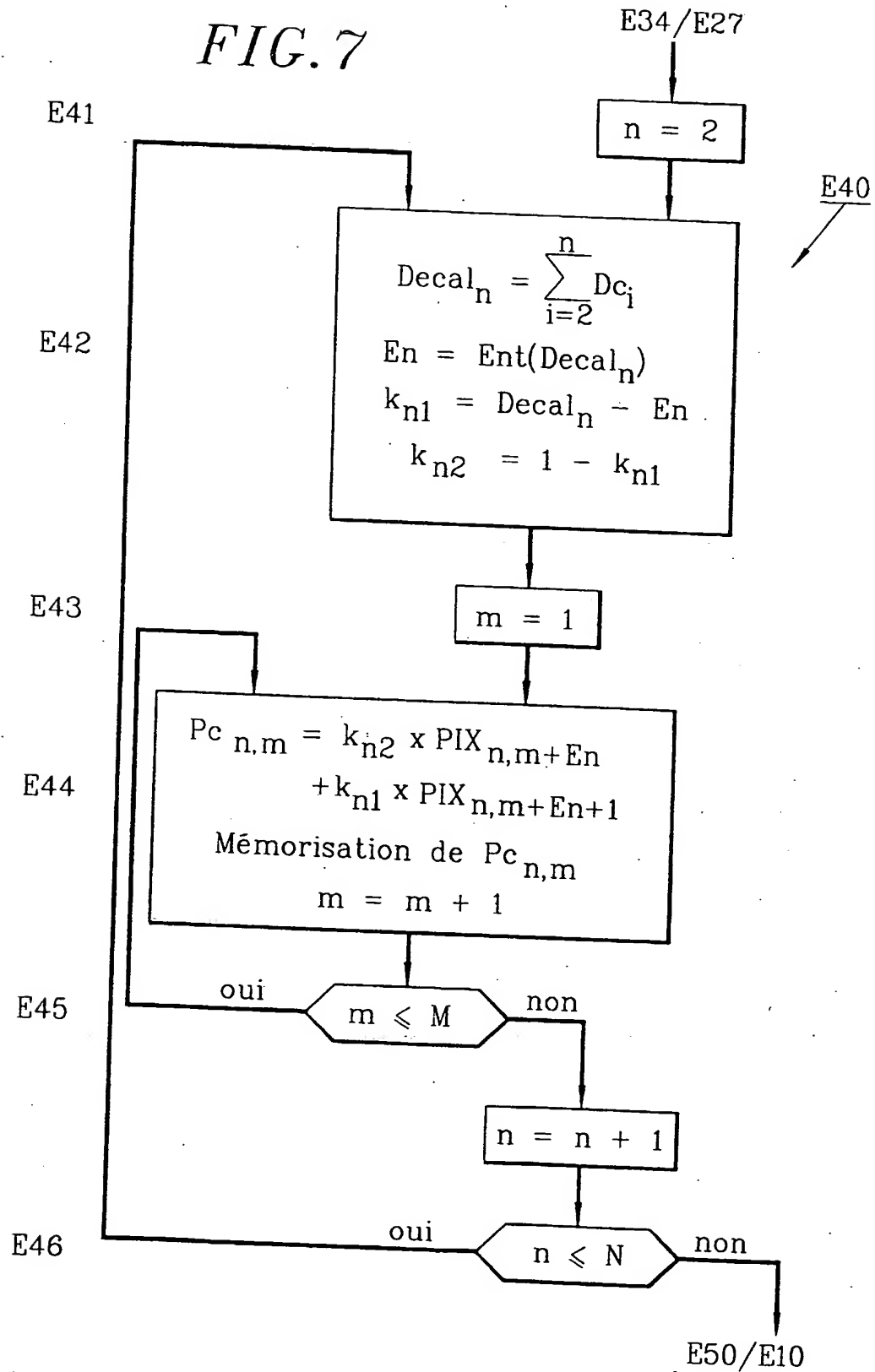


FIG. 7



*FIG.8*

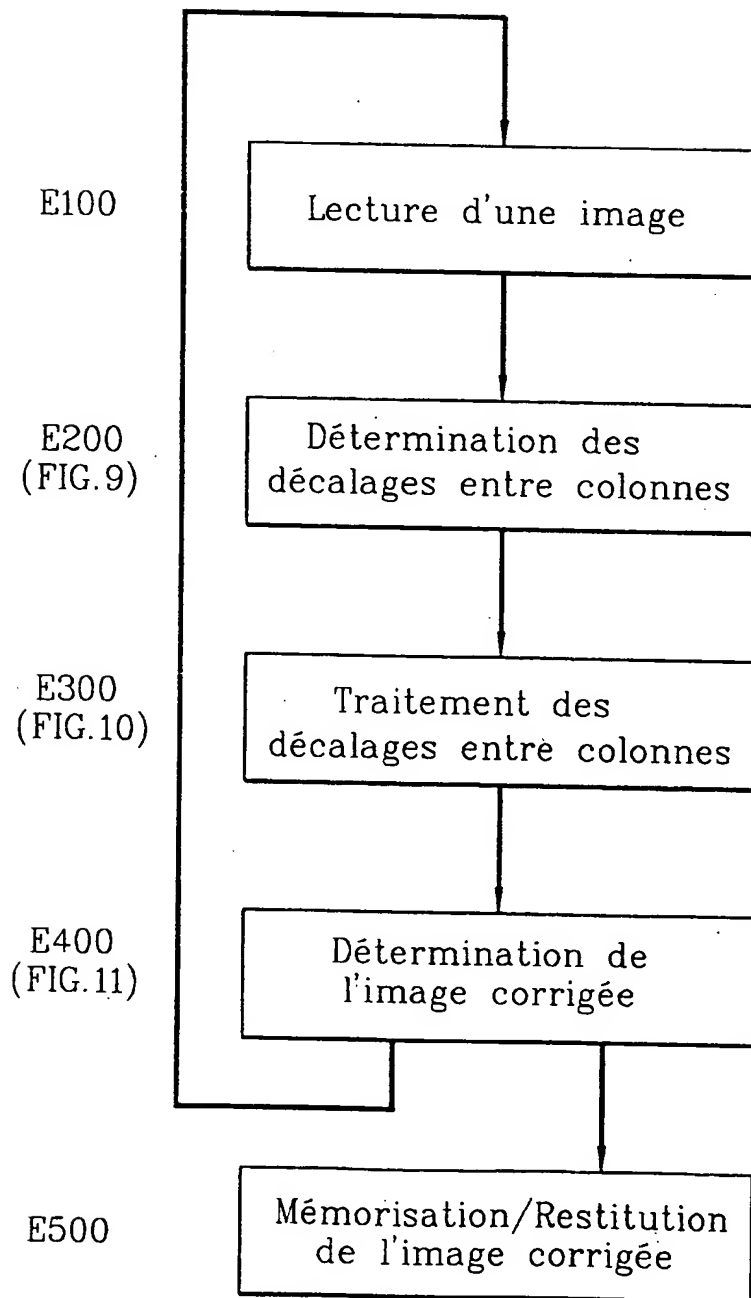


FIG. 9

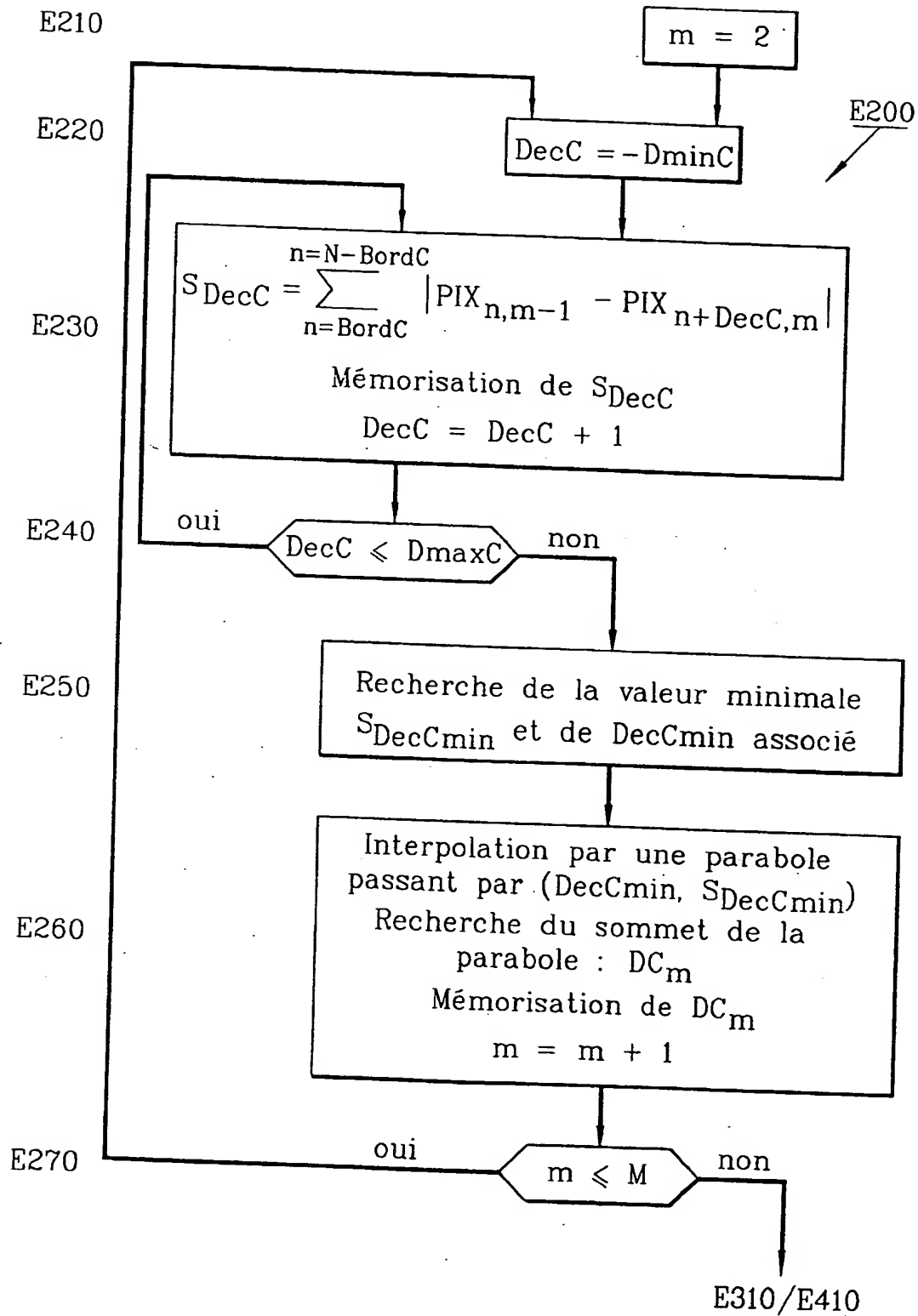




FIG. 10

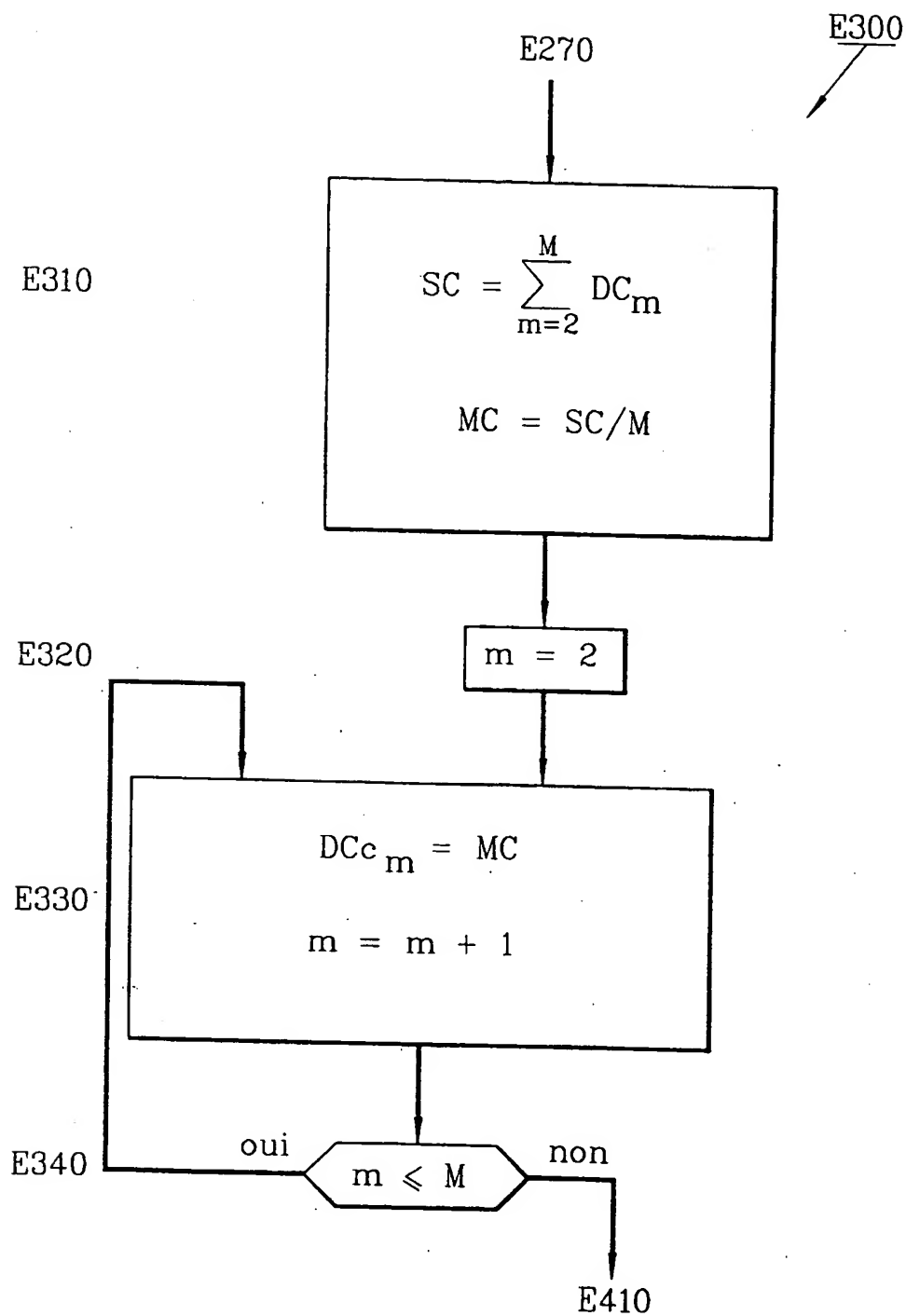
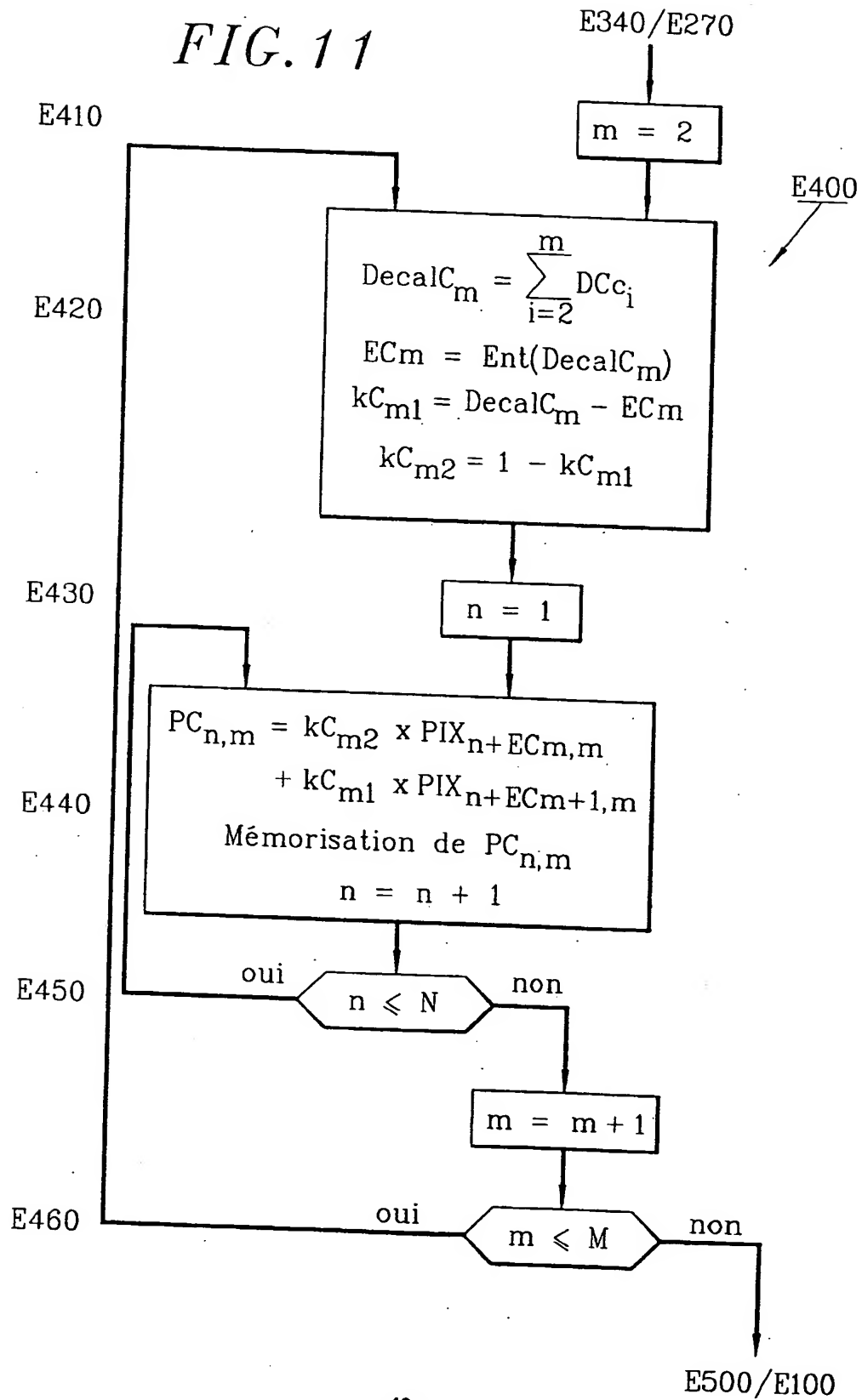


FIG. 11





Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande  
EP 94 40 1070

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| Catégorie  | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes   | Revendication concernée                              | CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.CLS)          |
| A  | GB-A-2 168 874 (ITEK CORPORATION)<br>* page 2, ligne 67 - page 5, ligne 51;<br>figures 2,3 *  | 1-9  | H04N5/232<br>H04N5/14<br>G06F15/70          |
| A  | SMPTE JOURNAL,<br>vol.101, no.2, Février 1992, SCARSDALE, NY<br>US<br>pages 66 - 75<br>UOMORI ET AL. 'Electronic Image<br>Stabilization System for Video Cameras and<br>VCRs'<br>* page 67, colonne 1, ligne 66 - page 74,<br>colonne 3, ligne 21; figures 3-20 * | 1-9  |   |
| A  | US-A-5 189 518 (NISHIDA)<br>* colonne 9, ligne 16 - colonne 14;<br>figures 8-15 *   | 1-9  |   |
|  |   |  | DOMAINES TECHNIQUES<br>RECHERCHES (Int.CLS) |
|  |   |  | H04N<br>G06F                                |
| Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications   |   |  |   |
| Lieu de la recherche<br>BERLIN   |   | Date d'achèvement de la recherche<br>29 Juillet 1994 | Examineur<br>Materne, A                     |
| <p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul<br/>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie<br/>A : artère-plus technologique<br/>O : divulgation non-écrite<br/>P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention<br/>E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date<br/>D : cité dans la demande<br/>L : cité pour d'autres raisons<br/>A : membre de la même famille, document correspondant</p> |   |  |   |

EPO FORM 1500 (12/93) (P04002)

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**